2К

УДК 004.272.43

А.Г. Коваленко
НИИ многопроцессорных вычислительных систем им. акад. А.В. Каляева
Южного федерального университета, г. Таганрог, Россия
k.a.g@bk.ru

Решение задачи диагностики дорожных покрытий на реконфигурируемой вычислительной системе с применением языка COLAMO

В данной статье рассматривается решение задачи диагностики дорожных покрытий на реконфигурируемой вычислительной системе с применением языка COLAMO. Подробно рассмотрены особенности реализации вычислительно трудоемких частей задачи, представлены граф-схемы, приведены примеры текста программы на языке COLAMO.

С помощью электромагнитного зондирования удается оперативно получать структуру дорожного покрытия, определять толщины составляющих покрытие слоев. В зависимости от используемой частоты антенны подход позволяет получать структуру дороги с различными разрешением и глубиной. Метод позволяет идентифицировать слои асфальта, бетона, песка, глины, пустоты, переувлажненные участки.

Постановка задачи. В задаче диагностики дорожных покрытий можно выделить несколько последовательных этапов обработки, которые проходит каждая трасса, поступающая из георадара, заключающихся в решении параметрических математических задач, решении интегрального уравнения, применении методов обработки изображения и распознавания образов. Решением задачи является вертикальное сечение дороги (под линией зондирования) в виде обработанного полутонового изображения, а также выделенные в процессе обработки слои и их толщины.

Анализ алгоритма задачи показал, что наибольшей вычислительной трудоемкостью обладают этапы вычитания прямого сигнала и обращения интегрального уравнения. Все остальные этапы и другие вычислительные блоки могут быть выполнены на обычном персональном компьютере. Таким образом, схема реализации задачи диагностики дорожных покрытий для реконфигурируемых вычислительных систем (РВС) состоит из двух вычислительно трудоемких модулей, каждый из которых представляет собой отдельную программу на языке COLAMO.

Язык программирования COLAMO представляет собой высокоуровневый язык, предназначенный для программирования многопроцессорной вычислительной системы с реконфигурированной архитектурой.

Язык COLAMO позволяет описывать вычислительные алгоритмы для реализации на реконфигурируемых вычислительных системах в пределах одной архитектуры различных конфигураций и дает возможность программисту максимально просто описывать различные виды параллелизма в достаточно сжатом виде.

Рассмотрим реализацию модуля, вычитающего прямой сигнал, на РВС. Каждая трасса предварительно нормируется с помощью умножения каждого отсчета трассы на нормировочный коэффициент. После этого осуществляется поиск оптимальных

значений сдвига и коэффициента вычитания методом перебора сдвига в заданном диапазоне с помощью вычисления кубического сплайна, интерполирующего заданные значения табличной функции в предварительно рассчитанных точках. В конце поиска на основе найденных оптимальных значений сдвига и коэффициента вычитания вычисляется прямой сигнал, который, в свою очередь, вычитается из нормированной трассы.

На рис. 1 представлена граф-схема, осуществляющая перебор сдвига в диапазоне для нахождения оптимального значения сдвига и коэффициента для вычитания прямого сигнала.

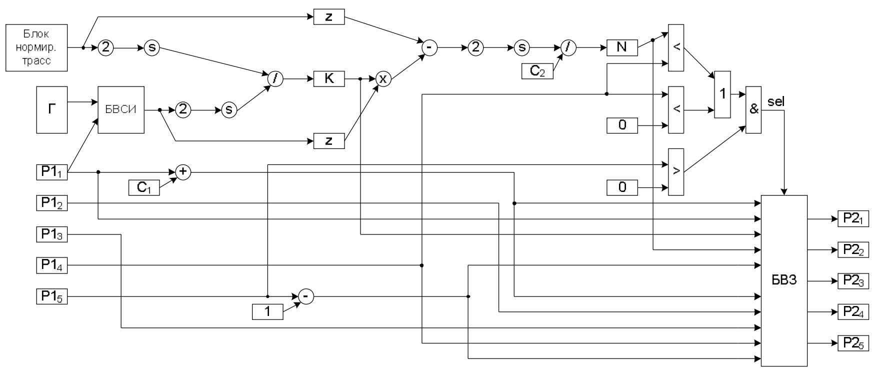


Рисунок 1 – Граф-схема поиска оптимального сдвига и коэффициента для вычитания прямого сигнала методом перебора сдвига

Граф-схема вычислений – это структура, отображающая информационную зависимость вычислений для каждого элементного узла. Каждая вершина этой структуры является элементарным процессором (функциональным устройством), участвующим в решении задачи.

На рис. 1 приняты следующие обозначения:
– Г – генератор;
– $P1_i$ – исходные параметры для текущего шага перебора для текущей трассы;
– s – блок вычисления суммы элементов потока в заданном диапазоне;
– БВСИ – блок вычисления сплайн-интерполяции;
– 2 – блок возведения в квадрат;
– z – блок задержки данных;
– C_i – константы;
– БВЗ – блок выборки значений;
– K – значение коэффициента для вычитания прямого сигнала для текущей трассы;
– N – значение невязки для текущей трассы;
– $P2_i$ – выходные параметры для текущего шага перебора для текущей трассы.

На каждом шаге перебора для каждой трассы вычисляется невязка N. Если это первый проход (изначально минимальная невязка отрицательна) или вычисленная невязка меньше минимальной, то (при условии, что еще не выполнены все шаги перебора) в выходные параметры записываются текущее значение сдвига, вычисленный коэффициент вычитания K, вычисленная невязка N, иначе записываются данные с предыдущего шага. Коммутацию выходных значений обеспечивает блок выборки значений, который представляет собой набор мультиплексоров, управляемых сигналом *sel*.

В задаче диагностики дорожных покрытий область оптимизации включает в себя 60 отсчетов трассы. Дополнение области нулями до 64 элементов позволяет находить сумму этих элементов, используя схему, представленную на рис. 2.

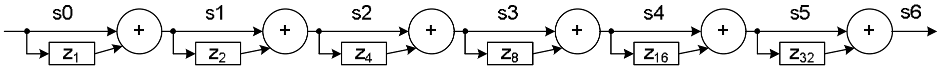


Рисунок 2 – Граф-схема сложения 64 значений

Блоки z_i задерживают данные на i тактов. На первом сумматоре происходит попарное сложение 64 значений с получением 32 частичных сумм. Эти частичные суммы идут через такт, поэтому перед вторым сумматором необходимо увеличить задержку данных до двух. В результате получается 16 частичных сумм, но уже идущих каждый четвертый такт. Таким образом, увеличивая каждый раз задержку данных перед последующим сумматором вдвое, мы на выходе последнего сумматора получим сумму 64 значений на 64-м такте.

Блок вычисления сплайн-интерполяции позволяет находить значения кубического сплайна, используя табличную функцию в узлах сетки. Данный блок естественным образом реализуется на языке COLAMO. Отметим, что сетка, табличная функция и коэффициенты кубического сплайна реализованы в виде блоков ПЗУ, так как в пределах обрабатываемых трасс остаются неизменными.

Для организации плотного потока данных через вычислительную схему предлагается осуществлять перебор не для каждой трассы в отдельности, а для всех трасс. То есть один кадр работы схемы будет представлять собой один шаг перебора для каждой трассы. Однако в данном случае количество кадров будет определяться относительно той трассы, которая имеет наибольшее количество повторений для перебора.

Теперь рассмотрим реализацию модуля, решающего задачу обращения интегрального уравнения на РВС. Данный этап обработки представляет собой операцию свертки – над исходной трассой выполняется операция быстрого преобразования Фурье (БПФ), результат которого комплексно умножается на ядра интегрального уравнения, после чего производится операция обратного БПФ с нормировкой результата.

Ступень БПФ представлена на рис. 3.

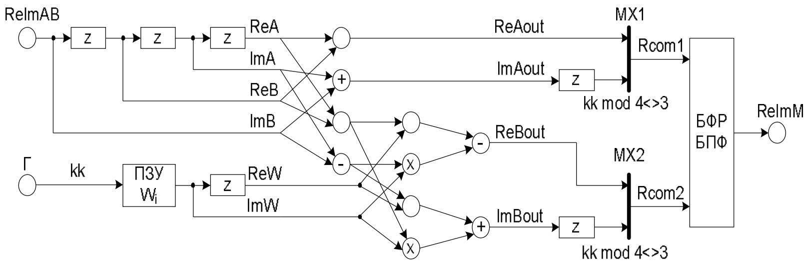


Рисунок 3 – Граф-схема одной ступени БПФ

Комплексные данные для БПФ *ReImAB* поступают из одного канала. При помощи элементов задержки на один операнд *z* раз в четыре такта формируются истинные значения *ReA*, *ImA*, *ReB*, *ImB*. Аналогичным образом получаем коэффициенты для текущей ступени БПФ *ReW* и *ImW* из ПЗУ, которое запускается генератором *Г*. Результаты операции БПФ формируются каждый четвертый такт. На этом такте в коммутации *Rcom1* и *Rcom2* запишутся реальные части, на первом такте – мнимые части, которые специально будут задержаны на один операнд, на втором и третьем тактах – некорректные данные. Для объединения двух потоков данных и вырезки из потока некорректных данных каждые 2 такта используется блок формирования результата ступени БПФ (БФР БПФ), представляющий собой библиотечный элемент.

Напомним, что при структурно-процедурной организации вычислений выполняются все ветви условных операторов. Выбор той или иной ветви осуществляется с помощью мультиплексоров (*MX*). В частности, мультиплексоры *MX1* и *MX2* выбирают ветви с реальными частями только в четвертом такте. В остальные такты коммутируются ветви с мнимыми частями.

Такая реализация позволяет каскадно подключать ступени БПФ, образуя конвейер.

Ниже приведен текст программы на языке COLAMO, описывающий структуру, представленную на рис. 3:

```
VAR ReImAB, ReImW, ReImM, Rcom1, Rcom2, ReA, ImA, ReB, ImB, ReW, ImW, ReAout, ImAout, ReBout, ImBout :
real com;
VAR ABbuf1, ABbuf2, ABbuf3, ABbuf4, Wbuf1, Wbuf2, ImAbuf, ImBbuf : array real [2:stream] com;
VAR kk : number;
VAR kk4 : integer com;

ABbuf1[kk]:=ReImAB;
ABbuf2[kk]:=ABbuf1[kk-1];
ABbuf3[kk]:=ABbuf2[kk-1];
ABbuf4[kk]:=ABbuf3[kk-1];
ReA:=ABbuf4[kk];  ImA:=ABbuf3[kk];
ReB:=ABbuf2[kk];  ImB:=ABbuf1[kk];
Wbuf1[kk]:=ReImW;
Wbuf2[kk]:=Wbuf1[kk-1];
ReW:=Wbuf2[kk]; ImW:=Wbuf1[kk];
ButFFT(ReA, ImA, ReB, ImB, ReW, ImW, ReAout, ImAout, ReBout, ImBout);
ImAbuf[kk]:=ImAout; ImBbuf[kk]:=ImBout;
for kk:=0 to 512 do begin
   kk4:=kk and 3;
   if kk4=3 then begin
      Rcom1:=ReAout; Rcom2:=ReBout;
   end;
   else begin
      Rcom1:=ImAbuf[kk-1]; Rcom2:=ImBbuf[kk-1];
   end;
end;
ReImM:=MakeOneStream(Rcom1,Rcom2,512);//БФР БПФ
```

Подкадр ButFFT описывает вычислительную часть структуры БПФ (рис. 3).

Операция БПФ над трассой выполняется один раз. Поэтому в первом кадре все трассы проходят блок вычисления БПФ. После этого результат БПФ каждой трассы комплексно умножается на каждое ядро интегрального уравнения, обрабатывается в блоке обратного БПФ и нормируется. Количество этих кадров будет определяться числом ядер. Следует отметить, что обратное БПФ можно выполнить на том же аппаратном ресурсе, который вычисляет БПФ, просто подав на схему другие коэффициенты.

Реализация модулей «Вычитание прямого сигнала» и «Обращение интегрального уравнения» на РВС с использованием языка COLAMO показала достаточно высокую производительность РВС, которая составила порядка 50 Гфлопс. Выигрыш по времени решения обеих подзадач по сравнению с обычным персональным компьютером составил около 100 раз.

Литература

1. Обследование автомобильных дорог при помощи метода георадиолокации. – Санкт-Петербург : Мир дорог, 2004.
2. Каляев А.В. Модульно-наращиваемые многопроцессорные системы со структурно-процедурной организацией вычислений / А.В. Каляев, И.И. Левин. – М. : Янус-К, 2003. – 380 с.

О.Г. Коваленко

Розв’язання задачі діагностики дорожніх покриттів на реконфігурованій обчислювальній системі із застосуванням мови COLAMO

У даній статті розглядається розв’язання задачі діагностики дорожніх покриттів на реконфігурованій обчислювальній системі із застосуванням мови COLAMO. Детально розглянуті особливості реалізації обчислювань по трудомістких частин задачі, представлені граф-схеми, наведені приклади тексту програми мовою COLAMO.

Статья поступила в редакцию 04.06.2009.